

3. Кудинов А. А., Зиганшина С. К. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения. М. : ИНФРА-М, 2016. 320 с.

УДК 62-404.8; 536.222; 536.243

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
НАНОЖИДКОСТИ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**THE ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USE  
OF NANOFLUID AS THE HEAT CARRIER FOR INCREASE IN  
EFFICIENCY OF SYSTEMS OF HEAT SUPPLY**

Гирфанова В. В., Велькин В. И.

Уральский федеральный университет, г.Екатеринбург,  
barzenkova.viktorya@yandex.ru; v.i.velkin@urfu.ru

Girfanova V. V., Velkin V. I.

Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** Рассмотрена возможность применения наножидкостей в системах теплоснабжения в качестве теплоносителя. Произведен выбор наиболее эффективных наножидкостей путем анализа теплопроводности, концентрации, размера, массы и скорости наночастиц. Представлены зависимости коэффициента теплоотдачи наножидкости от числа Рейнольдса и коэффициента теплоотдачи от объемной концентрации. Коэффициент теплоотдачи наножидкости увеличивается при добавлении 1 об. % на 100 % (в 2 раза), при добавлении 2 и 3 об. % соответственно на 200 и 300 %.

**Abstract:** The possibility of applying monogidrata in heating as the heating medium. Selection of the most effective monogidrata by thermal analysis, concentration, size, mass and velocity of nanoparticles. It is shown the dependence of heat transfer coefficient of nanofluids vs

Reynolds number and the heat transfer coefficient from the bulk concentration. The heat transfer coefficient of nanofluid is increases by 100 % (in 2 times), adding about 2 %, 3 %, respectively, at 200 and 300 % increases.

**Ключевые слова:** *наножидкость, наночастицы, система теплоснабжения.*

**Key words:** *nanofluid, nanoparticles, heat supply.*

Применение наножидкостей в системах отопления и вентиляции может дать существенное повышение теплоотдачи.

Для использования наножидкостей в качестве теплоносителя необходимо обладать знаниями по их теплофизическим свойствам. С этой целью был выполнен анализ работ по исследованию наножидкостей.

В работах [1, 3, 4] по изучению переноса тепла в наножидкостях, продемонстрировано, что теплопроводность суспензий ультрадисперсных оксидов алюминия, кремния и титана в воде при объемной концентрации порядка нескольких процентов превышает теплопроводность чистой жидкости на десятки процентов.

Результаты эксперимента с наночастицами различного размера говорят о том, что теплопроводность жидкости на основе более крупных частиц достаточно хорошо описывается с помощью теории Максвелла [2].

Прежде всего, полученные данные были соотнесены с теоретическими моделями, построенными для описания теплопроводности крупнодисперсных суспензий. Первая такая модель была создана Максвеллом [5], который получил соотношение между коэффициентами теплопроводности суспензии  $\lambda$  и несущей жидкости  $\lambda_0$ .

Однако, экспериментальные данные [5] показали двойственность: теплопроводность наножидкостей зависит не только от концентрации и теплопроводности наночастиц, но и от материала и размера наночастиц.

Значительное возрастание теплопроводности наножидкостей возможно даже при небольших концентрациях частиц. При этом степень этого увеличения существенно зависит от массы наночастиц, причем квадратичная зависимость роста теплопроводности от массы наночастиц означает одновременно и квадратичную зависимость от плотности:  $\Delta\lambda \approx (p_{\text{ч}}/p_{\text{м}})^2$ , где  $p_{\text{ч}}$  – плотность материала наночастиц. Это доказывает эксперимент, проведенный в работе [6].

По экспериментальным данным [7] на установке Setaram Sensys EVO TG-DSC удельная теплоемкость нанопорошков на основе SiO<sub>2</sub> и SiC определялась в диапазоне температур от 30 до 80 °С. С возрастанием температуры, удельная теплоемкость увеличивается.

По полученным экспериментальным данным [8], теплоемкость наножидкости хорошо описывается выражением (1):

$$C_p = \frac{\lambda}{\alpha \times \rho} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность образца, Вт/(м·К);  $\alpha$  – температуропроводность, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  – плотность образца, кг/м<sup>3</sup>.

Результаты расчета теплоемкости образцов приведены в таблице [8].

Полученные результаты показывают, что теплоемкость наножидкости превышает теплоемкость чистой воды, причем зависимость роста увеличивается с увеличением концентрации наночастиц. Анализ результатов [9] и данные таблицы показали, что наиболее эффективно использование наножидкости с углеродными нанотрубками.

Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) исследуемых теплоносителей в зависимости от концентрации нанодобавок

Концентрация, %	Наименование теплоносителей		
	Вода+ графит	Вода+углеродные нанотрубки	Водный раствор этиленгликоль+ углеродные нанотрубки
0,2	3706,8	5204,4	2076,9
0,3	3748,2	5338,9	2037,8
0,35	3753,5	5444,8	1993,0
0,4	3774,2	5465,4	1950,5

С помощью теории подобия рассчитаем коэффициент теплоотдачи жидкости – воды и наножидкости – вода+углеродные нанотрубки. Рассмотрим установившееся турбулентное течение жидкости с постоянными физическими свойствами в круглой цилиндрической трубе. Исходные данные:  $d = 40\text{мм.}$ ;  $T_{\text{ж}} = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{с}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $l = 4,4\text{ м.}$

При  $\vartheta = 0,3\text{ м/с}$ ;  $Re = 42253$ ;  $Nu_{\text{ж},d} = 131,20$ .

Коэффициент теплоотдачи определяют по числу Нуссельта, при этом теплопроводность жидкости рассчитывается при температуре, равной средней из температур на входе и выходе.

При  $Nu_{\text{ж},d} = 131,2$  и концентрации углеродных нанотрубок 1 об. %, коэффициент теплоотдачи, по формуле (2) и (3):

$$\alpha_{\text{ж}} = \frac{Nu_{\text{ж},d} \times \lambda_{\text{ж}}}{d} = \frac{131,2 \times 0,55}{0,04} = 1804,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{C}} \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{н}} = \frac{Nu_{\text{н},d} \times \lambda_{\text{н}}}{d} = \frac{131,2 \times 1,1}{0,04} = 3608,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{C}} \quad (3)$$

Таким образом, коэффициент теплоотдачи наножидкости увеличивается на 100 % (в 2 раза), при добавлении 2 об. % или 3 об. % соответственно на 200 или 300 %.

По полученным расчетам на рис. 1 представлена зависимость относительной теплоотдачи наножидкости на основе нанотрубок от объемной концентрации.

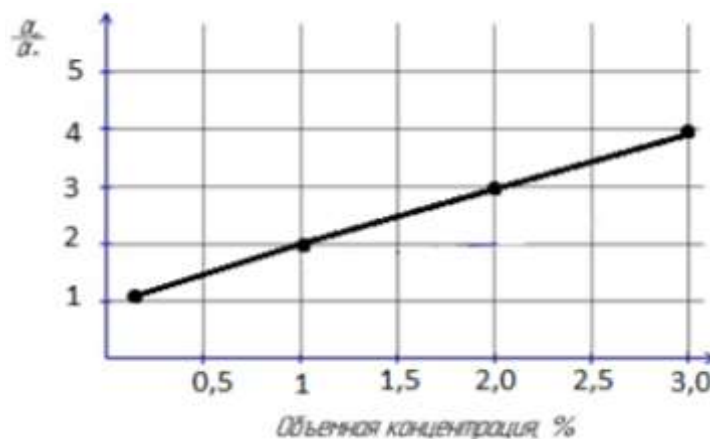


Рис. 1. Зависимость относительной теплоотдачи от объемной концентрации нанотрубок в теплоносителе

Из графика на рис. 1 видно, что при увеличении концентрации наночастиц наблюдается повышение коэффициента теплоотдачи по

сравнению с чистой водой. Это говорит о том, что возможно сократить площадь поверхности нагрева теплообменных аппаратов систем теплогазоснабжения.

График зависимости коэффициента теплоотдачи наножидкости вода/углеродные нанотрубки от числа Рейнольдса представлен на рис. 2.

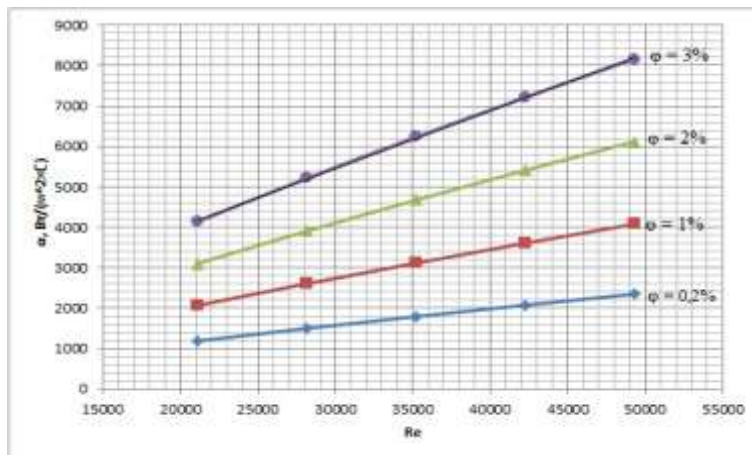


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи наножидкости от числа Рейнольдса

Полученные зависимости показывают, что значительное увеличение коэффициента теплоотдачи возможно при незначительном увеличении числа Рейнольдса. При этом степень этого увеличения существенно зависит от концентрации наночастиц и их скорости.

На основе проведенного исследования можно предположить, что применение наножидкостей имеет хорошие перспективы для совершенствования теплообменных аппаратов и повышения энергоэффективности систем теплоснабжения. Наиболее эффективным является использование наножидкости с углеродными нанотрубками.

#### Список использованных источников

1. Eastman J. A., Choi S. U. S., Li S., Thompson L. J., Lee S. Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids // Materials Research Society. Boston : FallMeeting, 1998. P. 3–11.
2. Choi, E. S., Brooks, J. S., Eaton, D. L., Al-Haik, M. S., Hussaini, M. Y., Garmestani, H., Li, D., Dahmen, K. Enhancement of thermal and electrical properties

- of carbon nanotube polymer composites by magnetic field processing // Journal of Applied Physics. 2003. Vol. 94. № 9. P. 6034–6039,
3. Wang X., Xu X., Choi S. U. S. Thermal conductivity of nanoparticlefluid mixture // J. Thermophys. Heat Trans. 1999. Vol. 13. № 4. P. 474–480.
4. Рудяк В. Я. Статистическая аэрогидромеханика гомогенных и гетерогенных сред. Т. 2. Гидромеханика // Новосибирск : НГАСУ, 2005. 468 с.
5. Maxwell J. C. A treatise on electricity and magnetism. 2nd ed. // Oxford : Clarendon Press, 1881. Vol. 1. 435 p.
6. Рудяк В. Я, Минаков А. В, Пряжников М. И. Теплофизические свойства наножидкостей и критерии подобия // Письма в Журнал технической физики. 2016. Т. 42. № 24. С. 9–16.
7. Гульбин В. Н. Разработка композиционных материалов, модифицированных нанопорошками, для радиационной защиты в атомной энергетике. // Ядерная физика и инжиниринг. 2011. Т. 2. № 3. С. 272–286.
8. Анакулов М. М. Влияние углеродных нанотрубок на изменение теплофизических и электрофизических свойств водного раствора этиленгликоля 65 (антифриз) и воды: дис. ...канд. тех. наук. Киев, 2014. 74 с.
9. Трубицына Г. Н. Оценка возможности использования наножидкостей в системах теплоснабжения и вентиляции / Г. Н. Трубицына, В. В. Барзенкова, В. С. Фроликова // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам X Международной научно-практической конференции. № 8 (10). М.: Изд-во «Интернаука», 2016.

УДК 519.876.5

### **3D МОДЕЛЬ И МАКЕТ ПЕЧИ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ, ВНЕДРЕННОЙ НА ЗАВОДЕ ГРУППЫ СИНАРА**

### **3D MODEL AND THE LAYOUT OF THE FURNACE WITH A BOILING LAYER IMPLEMENTED AT THE PLANT OF SINARA GROUP**

Головина А. В., Куриленко Д. А., Волкова Ю. В., Мунц В. А.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
golovina1996@bk.ru